

25.04.00  
09/913314Europäisches  
PatentamtEuropean  
Patent OfficeOffice européen  
des brevets

REC'D 28 APR 2000

WIPO

PCT

IB 00 / 145

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

99200369.9

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN  
THE HAGUE,  
LA HAYE, LE

29/03/00



200



Eur päisches  
Patentamt

Eur pean  
Patent Office

Office uropéen  
des brevets

**Blatt 2 d r Besch inigung**  
**Sheet 2 of the certificate**  
**Page 2 de l'attestation**

REC'D 28 APR 2003

WIPO

PUT

Anmeldung Nr.:  
Application no.: 99200369.9  
Demande n°:

Anmeldetag:  
Date of filing: 10/02/99  
Date de dépôt:

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
**Casale Chemicals SA**  
**6900 Lugano-Besso**  
**SWITZERLAND**

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:  
**Secondary reforming process and burner**

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State:  
Pays:

Tag:  
Date:  
Date:

Aktenzeichen:  
File no.  
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:  
International Patent classification:  
Classification internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:  
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE  
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:  
Remarks: See for title page 1 of the description  
Remarques:



100

100

100

100

100

0-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 1 -

Titolo: "Processo e bruciatore per reforming secondario"

### DESCRIZIONE

#### Campo di Applicazione

5 La presente invenzione fa riferimento ad un processo per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario per la produzione di miscele gassose contenenti idrogeno e monossido di carbonio, quali ad esempio i gas di sintesi per ammoniaca e metanolo.

10 Precisamente, il presente processo è focalizzato sulla reazione di combustione esotermica che precede la reazione catalitica di steam reforming fortemente endotermica.

In particolare, la presente invenzione concerne un processo per il reforming secondario comprendente le fasi di:

15 - alimentare un flusso gassoso comprendente ossigeno in una camera di combustione attraverso un condotto di alimentazione;

20 - alimentare un flusso gassoso comprendente idrocarburi nella camera di combustione attraverso un passaggio sostanzialmente anulare definito esternamente al condotto di alimentazione;

- miscelare e far reagire il flusso gassoso comprendente ossigeno con il flusso gassoso comprendente idrocarburi, con ottenimento di un flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio;

25 - alimentare il flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio ad un letto catalitico sottostante la camera di combustione per l'effettuazione di una reazione di steam reforming.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 2 -

Nel seguito della descrizione e nelle successive rivendicazioni, con il termine di: "flusso gassoso comprendente ossigeno", si intende genericamente indicare un gas comburente comprendente oltre all'ossigeno anche  
5 vapore d'acqua ed eventualmente azoto; con il termine di: "flusso gassoso comprendente idrocarburi", si intende invece indicare un gas combustibile o di processo comprendente oltre ad idrocarburi leggeri (ad esempio C1-C4) anche idrogeno, monossido di carbonio, anidride  
10 carbonica e vapore d'acqua.

Il gas combustibile proviene generalmente da una sezione di reforming primario dove idrocarburi quali ad esempio il gas naturale, la nafta, il GPL (gas di petrolio liquefatto) o il gas di raffineria, e loro miscele, sono stati fatti  
15 reagire con vapore d'acqua. Nel gergo del settore tali gas sono anche chiamati gas trasformati o riformati.

Nel seguito della descrizione e nelle successive rivendicazioni, con il termine di: "flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio", si intende  
20 indicare un flusso gassoso comprendente oltre a CO e H<sub>2</sub>, anche N<sub>2</sub>, Ar e He.

L'invenzione fa altresì riferimento ad un bruciatore ad ugelli per l'attuazione del processo più sopra citato.

Come noto, nel campo della produzione di gas di sintesi, è  
25 sempre più sentita l'esigenza di realizzare un processo per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario ad alta resa, che sia di facile attuazione e non richieda elevati consumi energetici e costi operativi.

#### Arte nota

30 Allo scopo di soddisfare la suddetta esigenza, sono stati proposti nel settore processi secondo i quali la reazione

- 3 -

di combustione viene fatta avvenire miscelando ossigeno con un flusso gassoso comprendente idrocarburi, generalmente gas trasformato proveniente da una sezione di reforming primario, in una camera di combustione.

- 5 In particolare, secondo questi processi, il flusso di ossigeno alimentato alla camera di combustione viene suddiviso in una pluralità di getti che si dipartono radialmente lungo file generalmente sovrapposte da un collettore circolare, mentre il flusso di idrocarburi viene fatto fluire attraverso tali getti.

- Così facendo si riescono ad ottenere una pluralità di fiamme (una per ogni getto) radiali, generalmente distribuite in file circolari sovrapposte rispetto alla direzione del flusso di gas di processo, e quindi  
15 effettuare la combustione di una quantità notevole di gas di processo anche in uno spazio ridotto quale quello della camera di combustione.

- Infatti, è bene ricordare come nelle apparecchiature di reforming secondario per la produzione di gas di sintesi,  
20 la camera di combustione dove avviene la combustione degli idrocarburi è ricavata nello spazio - generalmente di sezione tronco-conica - definito tra i bocchelli di ingresso dei reagenti gassosi ed un letto catalitico per la successiva reazione di steam reforming del gas combusto  
25 comprendente monossido di carbonio e idrogeno.

Ciò è dovuto al fatto che al fine di ottimizzare la resa di tali apparecchiature, viene massimizzato lo spazio per il catalizzatore limitando lo spazio dove far avvenire la reazione di combustione del gas di processo.

- 30 Nonostante la suddivisione del flusso di ossigeno in una pluralità di file di getti sovrapposti orientati in una direzione semi radiale favorisca la combustione degli

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 4 -

idrocarburi in uno spazio ridotto, i processi secondo l'arte nota presentano diversi inconvenienti qui di seguito evidenziati.

5 - Miscelazione non ottimale dei reagenti gassosi nella camera di combustione con la conseguenza di una reazione di combustione incompleta ed il rischio di una produzione di nerofumo dovuta alla pirolizzazione degli idrocarburi che, nell'immediata vicinanza del bruciatore, vengono a contatto e si mescolano con i gas combusti circolanti all'interno  
10 della camera di combustione prima di poter essere opportunamente miscelati con l'ossigeno.

Tale inconveniente è dovuto principalmente al non ottimale posizionamento e dimensionamento dei getti di ossigeno che si trovano così ad aspirare quantità diverse di gas di  
15 processo con la conseguente formazione di fiamme tra loro diverse, e cioè in diverse condizioni di temperatura e composizione.

Inoltre, questo fenomeno può essere ulteriormente accentuato nei processi secondo l'arte nota da una portata non uniforme del flusso gassoso comprendente idrocarburi  
20 alimentato nella camera di combustione in prossimità dei getti di ossigeno.

Una combustione incompleta nella camera di combustione è particolarmente svantaggiosa perché sfavorisce la  
25 successiva reazione di steam reforming a scapito della produzione di gas di sintesi.

- Alte perdite di carico del flusso di ossigeno che, oltre ad essere utilizzato quale comburente nella reazione di combustione, ha la funzione molto importante di operare  
30 quale fluido di raffreddamento delle pareti del bruciatore preposto per l'attuazione della reazione di combustione, per evitare un suo danneggiamento o rapido deterioramento.



- 5 -

Secondo i processi della tecnica nota, il gas comburente viene fatto fluire lungo percorsi particolari allo scopo di realizzare il suddetto raffreddamento a scapito però di una elevata perdita di carico di tale flusso, con ripercussioni negative in termini di consumi energetici e di costi operativi.

- Lunghezza eccessiva delle fiamme generate dai getti di ossigeno alimentati nella camera di combustione dovuta ad un dimensionamento non ottimale di tale getti, e cioè ad un numero insufficiente di getti e ad un diametro troppo elevato degli ugelli che generano tali getti.

La lunghezza delle fiamme è un parametro critico per uno sfruttamento ottimale della camera di combustione. Fiamme troppo lunghe rischiano di lambire il rivestimento di materiale refrattario della camera di combustione così come il sottostante catalizzatore, danneggiandoli.

A causa dell'eccessiva lunghezza delle fiamme, nelle apparecchiature di reforming secondario preposte all'attuazione dei processi secondo l'arte nota è necessario cambiare con relativa frequenza il materiale refrattario della camera di combustione con conseguenti elevati costi di manutenzione e perdite di produzione. Inoltre, per evitare il danneggiamento del catalizzatore viene sacrificato parte dello spazio destinato al letto catalitico a scapito della resa globale di tali apparecchiature per la produzione di gas di sintesi.

La pluralità di getti radiali distribuiti in file circolari sovrapposte rispetto alla direzione del flusso degli idrocarburi, impedisce una corretta ricircolazione periferica dei gas combusti che non riescono quindi a ridurre la temperatura in corrispondenza delle pareti laterali della camera di combustione. L'eccessiva temperatura provoca un deterioramento del materiale

- 6 -

refrattario con gli inconvenienti più sopra citati con riferimento alla lunghezza delle fiamme.

A causa di questi svantaggi, l'implementazione dei processi per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario secondo l'arte nota richiede a tutt'oggi dei grossi investimenti, elevati consumi energetici così come alti costi operativi e di manutenzione, tali da penalizzare sensibilmente i costi per la produzione di gas di sintesi, nonostante la richiesta sempre crescente di quest'ultimi.

#### 10 Sommario dell'Invenzione

Il problema tecnico che sta alla base della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un processo per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario, ad alta resa, che sia semplice da attuare e consenta un'elevata produzione di gas di sintesi a bassi consumi energetici e che non richieda elevati costi di esercizio e di manutenzione.

In accordo con la presente invenzione, il suddetto problema viene risolto da un processo del tipo più sopra indicato, il quale si caratterizza per il fatto di comprendere le fasi ulteriori di:

- alimentare il flusso gassoso comprendente ossigeno nella camera di combustione sotto forma di una pluralità di getti tra loro non sovrapposti rispetto alla direzione del flusso comprendente idrocarburi, aventi un diametro in uscita dal condotto di alimentazione compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra 5-15 mm, ed una velocità di 20-100 m/s, preferibilmente 40-60 m/s;
- sottoporre il flusso gassoso comprendente idrocarburi ad una predeterminata perdita di carico in uscita di passaggio

- 7 -

sostanzialmente anulare, così da uniformare la portata di tale flusso;

- suddividere il flusso gassoso comprendente idrocarburi così uniformato in una pluralità di flussi di uguale portata, alimentati nella camera di combustione tra i getti del flusso gassoso comprendente ossigeno, in modo che in corrispondenza di ogni getto vi sia una stessa quantità di gas combustibile.

Vantaggiosamente, la presente invenzione permette di ottimizzare la reazione di combustione degli idrocarburi, e quindi di facilitare la produzione di gas di sintesi, minimizzando i consumi energetici ed i costi di esercizio e di manutenzione.

Infatti, grazie al presente processo, il flusso gassoso comprendente ossigeno alimentato alla camera di combustione viene suddiviso in una pluralità di getti tra loro non sovrapposti nella direzione del flusso gassoso comprendente idrocarburi, e cioè ogni frazione di flusso comprendente idrocarburi inviata nella camera di combustione viene a contatto con un solo getto di ossigeno e non con più getti come generalmente avviene nel caso dei processi secondo l'arte nota.

Inoltre, la portata del flusso gassoso comprendente idrocarburi viene vantaggiosamente uniformata e tale flusso suddiviso in una pluralità di flussi di uguale portata alimentati nella camera di combustione tra i getti d'ossigeno.

Questo fa sì che ogni getto di ossigeno possa aspirare nella camera di combustione una quantità costante di gas combustibile ed eventualmente di gas combusti di riciclo, con il risultato di ottenere fiamme tutte alle stesse condizioni di temperatura e composizione.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 8 -

Vantaggiosamente, il piccolo diametro dei getti di ossigeno, permettono di controllare efficacemente la lunghezza delle fiamme risultanti dalla combustione con il gas di processo così da realizzare uno sfruttamento  
5 ottimale della camera di combustione senza il rischio di danneggiamenti del materiale refrattario e/o del sottostante catalizzatore.

Inoltre, la bassa velocità di alimentazione del flusso comprendente ossigeno consente vantaggiosamente di ottenere  
10 una perdita di carico di tale flusso sufficientemente bassa per minimizzare i consumi energetici.

In particolare, grazie alla totale assenza di getti sovrapposti, la parte terminale di tale condotto che è a contatto con i gas caldi combusti e quindi generalmente  
15 soggetta a rapido deterioramento, può venire raffreddata in modo efficace ed uniforme da tutta la portata di ossigeno, ovvero da una quantità costante ed omogenea di ossigeno, che fluisce internamente allo stesso. In questo modo è possibile garantire una lunga durata di esercizio del  
20 condotto di alimentazione (del bruciatore per la combustione del gas di processo) evitando quindi frequenti sostituzioni dello stesso, che richiedono l'arresto dell'impianto, con conseguenti notevoli risparmi in termini economici e di perdita di produzione.

Infine, il processo secondo la presente invenzione è risultato essere semplice, estremamente affidabile e facile da implementare, non richiedendo elevati costi di investimento e di manutenzione.

È stato solo in seguito alle ricerche effettuate dalla  
30 richiedente che si è riusciti a sviluppare un processo per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario per la produzione di gas di sintesi in grado di superare gli

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 9 -

inconvenienti più sopra citati con riferimento alla tecnica nota.

Preferibilmente, il flusso gassoso comprendente idrocarburi è alimentato nella camera di combustione con moto  
5 sostanzialmente trasversale, preferibilmente ortogonale, rispetto ai getti del flusso gassoso comprendente ossigeno.

In questo modo si ottiene una ricircolazione ottimale dei gas combusti all'interno della camera di combustione, i quali vengono opportunamente aspirati dai getti di ossigeno  
10 e forniscono l'energia sufficiente per la partenza della fiamma.

Secondo una forma di realizzazione dell'invenzione particolarmente vantaggiosa, il presente processo prevede la fase di alimentare il flusso gassoso comprendente  
15 ossigeno nella camera di combustione con getti di uguale portata e velocità.

Così facendo, i getti di ossigeno aspirano tutti la stessa quantità di gas combustibile e gas combusti ottimizzando la miscelazione tra i reagenti gassosi ed ottenendo fiamme tra  
20 loro tutte uguali e quindi una combustione omogenea e costante in tutta la camera di combustione.

Ciò facilita il completamento della reazione di combustione nella camera di combustione a tutto vantaggio dei consumi energetici e della resa della successiva reazione  
25 catalitica di steam reforming.

Vantaggiosamente, i consumi energetici vengono ulteriormente ridotti sottoponendo il flusso gassoso comprendente ossigeno attraversante il condotto di alimentazione ad una perdita di carico complessiva compresa  
30 tra 0.25 e 0.35 bar

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 10 -

Preferibilmente, i getti del flusso gassoso comprendente ossigeno vengono alimentati nella camera di combustione con un moto sostanzialmente ortogonale rispetto alla direzione di tale flusso all'interno del condotto di alimentazione.

- 5 In questo modo, si facilita la formazione di getti tra loro uniformi e costanti nel tempo favorendo ulteriormente la miscelazione con gli idrocarburi e la successiva reazione di combustione.

- 10 Inoltre, si ottiene un raffreddamento estremamente efficiente della parte terminale del condotto di alimentazione che è soggetta a sollecitazioni termiche maggiori.

- 15 In accordo con un ulteriore aspetto dell'invenzione, viene altresì messo a disposizione un bruciatore ad ugelli per reforming secondario del tipo comprendente:

- un primo condotto sostanzialmente cilindrico di predeterminata lunghezza per l'alimentazione di un flusso gassoso comprendente ossigeno ad una camera di combustione sottostante al bruciatore;
- 20 - un secondo condotto esterno e coassiale al primo che definisce al suo interno - tra tali condotti - una intercapedine sostanzialmente anulare per l'alimentazione di un flusso gassoso comprendente idrocarburi alla camera di combustione;
- 25 il bruciatore essendo caratterizzato per il fatto di comprendere ulteriormente:
  - almeno un collettore del flusso gassoso comprendente ossigeno in comunicazione di fluido con una estremità del primo condotto, comprendente una pluralità di ugelli
  - 30 disposti in modo non sovrapposto rispetto ad una asse del primo condotto e distribuiti lungo un perimetro di tale

0-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 11 -

almeno un collettore, in prossimità di una sua estremità inferiore;

- mezzi per uniformare la portata del flusso gassoso comprendente idrocarburi in uscita dall'intercapedine sostanzialmente anulare.

Le caratteristiche ed i vantaggi dell'invenzione risulteranno maggiormente dalla descrizione di un esempio di attuazione del processo secondo il trovato, fatta qui di seguito, a titolo indicativo e non limitativo con riferimento ai disegni allegati.

#### Breve descrizione dei disegni

In tali disegni:

- la figura 1 mostra una vista schematica in sezione longitudinale di una apparecchiatura di reforming secondario per la produzione di gas di sintesi comprendente un bruciatore ad ugelli operante con il processo secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione;

- la figura 2 mostra una vista schematica in sezione trasversale del bruciatore rappresentato in figura 1, secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione;

- la figura 3 mostra una vista schematica in sezione longitudinale del bruciatore di figura 2, fatta secondo le linee X-X;

- la figura 4 mostra una vista schematica in sezione longitudinale di un dettaglio del bruciatore di figura 3, fatta secondo le linee Y-Y.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 12 -

Descrizione dettagliata di una forma di realizzazione preferita

5 Con riferimento alla figura 1, con 1 è generalmente indicata una apparecchiatura di reforming secondario del tipo comprendente un mantello 2 sostanzialmente cilindrico in cui è alloggiato un letto 3 catalitico per l'effettuazione di reazioni quali la reazione di steam reforming per la produzione di gas di sintesi.

10 In corrispondenza di una estremità superiore ed inferiore del mantello 2, di sezione generalmente tronco-conica, è inoltre rispettivamente definita una camera 4 di combustione per la combustione degli idrocarburi ed una camera 5 per la raccolta del gas di sintesi prodotto nel letto 3 catalitico.

15 In particolare, la camera 4 di combustione dove avviene la reazione di combustione tra l'ossigeno e gli idrocarburi è delimitata inferiormente dal livello massimo raggiunto dal catalizzatore all'interno del mantello 2, indicato in figura 1 dalla linea tratteggiata 3a, e superiormente da un bruciatore 6 che verrà descritto in seguito con maggiore dettaglio.

25 L'interno del mantello 2 è rivestito di materiale refrattario - generalmente indicato con 7 in figura 1 - resistente alle alte temperature a protezione della struttura metallica del mantello.

Il flusso gassoso comprendente idrocarburi proveniente generalmente da una sezione di reforming primario viene introdotto nell'apparecchiatura 1 tramite il bocchello 8 di ingresso gas.

30 Il flusso gassoso comprendente ossigeno, viene invece introdotto nell'apparecchiatura 1 tramite il bocchello 9 di



- 13 -

ingresso gas. Questo flusso chiamato anche gas comburente comprende generalmente aria oppure aria arricchita in ossigeno. Con il termine: "aria arricchita in ossigeno", si intende indicare aria con un contenuto di ossigeno superiore al 21% molare, ad esempio compreso tra 22% e 80%.

Il gas di sintesi risultante dalla reazione catalitica di steam reforming fuoriesce dall'apparecchiatura 1 tramite il bocchello 10 di uscita gas in comunicazione di fluido con la camera 5.

Con 11, è infine indicato un elemento a calotta emisferica per il sostegno del letto 3 catalitico nel mantello 2.

L'apparecchiatura 1 di reforming secondario di figura 1 opera generalmente a temperature comprese tra 800-1000 °C, e pressioni comprese tra 20-40 bar. Nel gergo del settore, questa apparecchiatura viene altresì chiamata apparecchiatura di reforming autotermico.

A parte il bruciatore 6 che è oggetto della presente invenzione, le altre parti dell'apparecchiatura 1 sono di tipo convenzionale e non verranno descritte con maggiore dettaglio nel seguito della descrizione. Lo stesso dicasi per il tipo di materiali e di catalizzatore impiegati in tale apparecchiatura.

Il bruciatore 6 di figura 1 è alloggiato in una pendice 2a superiore del mantello 2 di diametro inferiore rispetto a quest'ultimo.

Esso comprende un primo condotto 12 sostanzialmente cilindrico di predeterminata lunghezza, in comunicazione di fluido con il bocchello 9 di ingresso per l'alimentazione del flusso gassoso comprendente ossigeno alla sottostante camera 4 di combustione.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 14 -

Un secondo condotto 13 esterno e coassiale al primo, ricavato dall'appendice 2a del mantello 2, definisce al suo interno - tra i condotti 12 e 13 - una intercapedine 14 sostanzialmente anulare per l'alimentazione del flusso gassoso comprendente idrocarburi alla camera di combustione 4.

L'intercapedine 14 è in comunicazione di fluido con il bocchello 8 di ingresso, che si immette ortogonalmente nel secondo condotto 13.

10 Il bruciatore 6 secondo la presente invenzione comprende ulteriormente almeno un collettore 15 del flusso gassoso comprendente ossigeno in comunicazione di fluido con una estremità 12a del primo condotto 12.

15 Secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione, rappresentata con maggiore dettaglio nelle figure 2-4, il bruciatore 6 comprende una pluralità di collettori 15 che si estendono radialmente dall'estremità 12a del primo condotto 12.

20 Preferibilmente, il numero dei collettori 15 può variare da 4 a 12 a seconda della portata dei gas reagenti e dello spazio disponibile nella camera di combustione 4. Nell'esempio qui illustrato, il bruciatore 6 comprende otto collettori 15 estesi radialmente lungo la circonferenza del primo condotto 12 e tra loro equidistanti.

25 Vantaggiosamente, i collettori 15 comprendono a loro volta una pluralità di ugelli 16 disposti in modo non sovrapposto rispetto ad una asse A del primo condotto 12, e distribuiti lungo la circonferenza dei collettori 15, in prossimità di una loro estremità inferiore 15a.

30 Nell'esempio specifico, gli ugelli 16 sono distribuiti lungo pareti 17 contrapposte dei collettori 15.

- 15 -

Nelle figure 2-4, i particolari del bruciatore 6 strutturalmente e funzionalmente equivalenti a quelli illustrati nella figura 1 verranno indicati con gli stessi numeri di riferimento e non saranno più oltre descritti.

- 5 Grazie alla particolare disposizione degli ugelli 16 lungo le pareti 17 dei collettori 15 si riesce vantaggiosamente a migliorare sensibilmente la miscelazione dei gas reagenti nella camera di combustione 14, e quindi la relativa combustione, rispetto all'insegnamento della tecnica nota.
- 10 Infatti, così facendo, ogni frazione del flusso gassoso comprendente idrocarburi proveniente dall'intercapedine 14 che si immette nella camera di combustione 4 con moto prevalentemente assiale, come indicato dalla linea di flusso tratteggiata 18 in figura 3, viene aspirata, e cioè
- 15 si miscela, con un unico getto del flusso gassoso comprendente ossigeno risultante dal passaggio del gas comburente attraverso gli ugelli 16 dei collettori 15.

- Lo stesso dicasi per il flusso dei gas combusti (non rappresentato) circolante nella camera di combustione 4.
- 20 Anche in questo caso, ogni frazione di gas combusto fluente in prossimità del bruciatore 7 viene aspirata da un unico getto di gas comburente.

- Il bruciatore 6 secondo la presente invenzione permette quindi di ottenere condizioni di miscelazione pressoché
- 25 costanti in corrispondenza dei collettori 15, il che significa operare con fiamme tutte uguali, operanti alle stesse condizioni di temperatura e composizione.

- Risultati particolarmente soddisfacenti in termini di miscelazione tra i gas reagenti sono stati riscontrati
- 30 disponendo gli ugelli 16 su una unica fila, preferibilmente parallela all'estremità inferiore 15a dei collettori 15 come indicato nell'esempio di realizzazione di figura 3.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 16 -

5 A questo proposito è importante notare come la disposizione radiale di una pluralità di collettori 15 in collegamento di fluido con l'estremità 12a del primo condotto 12 consente di ottenere uno sfruttamento ottimale del poco spazio disponibile nella camera di combustione 4.

10 Questa configurazione dei collettori 15 permette di realizzare un gran numero di ugelli 16 di piccolo diametro tra loro non sovrapposti nella direzione dell'asse A, e quindi ottenere un numero di fiamme (una per ogni getto di ossigeno) tali da permettere il completamento della reazione di combustione nella camera di combustione 4, ed allo stesso sufficientemente corte da impedire ogni danneggiamento del catalizzatore sottostante la camera 4 di combustione o delle pareti interne di tale camera.

15 Preferibilmente, gli ugelli 16 sono tra loro opportunamente distanziati, secondo la seguente relazione:

$$NFi * Di^2 / (Ri * DR) = C$$

20 dove, C è una costante, DR la distanza radiale tra ugelli adiacenti, Ri il raggio di una iesima circonferenza passante per gli ugelli, NFi il numero di ugelli sulla circonferenza di raggio Ri, Di il diametro dei ugelli sulla circonferenza di raggio Ri.

Il raggio Ri è pari alla distanza tra l'asse A del condotto 12 e gli ugelli 16 disposti sulla iesima circonferenza.

25 Così facendo, gli ugelli 16 possono venire convenientemente distanziati in modo da evitare indesiderate intersezioni o interferenze tra getti, e quindi fiamme, adiacenti.

30 Risultati particolarmente vantaggiosi sono stati ottenuti prevedendo una distanza radiale DR tra ugelli adiacenti di uno stesso collettore inversamente proporzionale al raggio R.

- 17 -

Secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione, gli ugelli 16 hanno inoltre un diametro costante compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra 5 e 15 mm.

- 5 Le suddette caratteristiche degli ugelli 16, sono particolarmente vantaggiose in quanto consentono di ottimizzare il numero ed il diametro degli ugelli che possono venire realizzati nelle pareti 17 dei collettori 15.

- 10 Così facendo, si riescono ad ottenere tanti getti di piccola portata - e quindi tante fiamme corte - che permettono la combustione di elevate quantità di gas di processo in uno spazio estremamente limitato, senza il rischio che le fiamme lambiscano il catalizzatore o il  
15 rivestimento in refrattario della camera 4 di combustione.

- In questo modo, si evitano indesiderati danneggiamenti del bruciatore così come del catalizzatore per la reazione di steam reforming, a tutto vantaggio della resa globale dell'apparecchiatura di reforming secondario. Inoltre,  
20 evitando di dover sostituire con frequenza il bruciatore - come nel caso della tecnica nota - si ottengono enormi risparmi in termini di costi per la mancata produzione di gas di sintesi e di costi di manutenzione.

- Al fine di evitare indesiderate perdite di carico del  
25 flusso comprendete ossigeno e vapore d'acqua attraversante i collettori 15, gli ugelli 16 circolari sono svasati in corrispondenza di un lato interno 17' delle pareti 17, come evidenziato in figura 4.

- Grazie a tale accorgimento è possibile evitare una perdita  
30 di carico anche del 50% rispetto alla perdita di carico a cui sarebbe sottoposto il flusso di ossigeno in uscita dagli ugelli 16 se questi non fossero svasati.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 18 -

Tale svasatura è ulteriormente vantaggiosa in quanto favorisce un flusso sostanzialmente laminare del gas comburente attraverso gli ugelli 16, evitando così la formazione indesiderata di vortici che renderebbero 5 scostanti e disuniformi i getti di ossigeno a scapito di una corretta miscelazione tra i gas reagenti e con il rischio di ottenere variazioni delle condizioni di temperatura e composizione delle fiamme.

Inoltre, l'estremità 15a inferiore dei collettori 15  
10 presentano preferibilmente una sezione sostanzialmente  
semicircolare per facilitare la fuoriuscita del flusso  
gassoso comprendente ossigeno dagli ugelli 16, minimizzando  
ulteriormente la perdita di carico di tale flusso.

In accordo con un aspetto particolarmente vantaggioso del  
15 bruciatore 6 secondo la presente invenzione, esso comprende  
ulteriormente opportuni mezzi per uniformare la portata del  
flusso gassoso comprendente idrocarburi in uscita  
dall'intercapedine 14 sostanzialmente anulare.

20 Secondo l'esempio realizzativo rappresentato nelle figure  
2-4, i mezzi per uniformare la portata del gas di processo  
comprendono una pluralità di diaframmi 20 forati che si  
estendono nell'intercapedine 14 in corrispondenza dei  
collettori 15. Più precisamente, i diaframmi 20 si  
estendono perpendicolarmente alle pareti 17 e  
25 parallelamente all'estremità inferiore 15a dei collettori  
15, in una posizione appena sovrastante gli ugelli 16.

Naturalmente, è possibile prevedere anche un unico diaframma 20 a dipendenza del numero e della conformazione dei collettori 15.

30 Essendo il bocchello 8 di ingresso del gas di processo  
generalmente perpendicolare rispetto all'intercapedine 4  
definita tra i condotti 12 e 13, si creano delle turbolenze

0-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 19 -

nel flusso gassoso comprendente idrocarburi fluent all'interno dell'intercapedine 4 che provocano una disuniformità di portata nel flusso alimentato alla camera di combustione 4.

- 5 Dato che tale alimentazione avviene a breve distanza dalla zona di miscelazione con l'ossigeno, l'assenza dei diaframmi 20 forati - che garantiscono una distribuzione uniforme del gas di processo - può portare ad una miscelazione non ottimale tra i gas reagenti, con velocità e quindi portate del flusso comprendente idrocarburi variabili localmente e nel tempo.

- 15 Uniformando la portata del flusso gassoso comprendente idrocarburi inviato nella camera di combustione 4, la quantità di gas di processo aspirata da ogni singolo getto d'ossigeno fuoriuscente dagli ugelli 16 è mantenuta costante ed omogenea in tutto il bruciatore 6, favorendo ulteriormente una corretta e completa combustione degli idrocarburi.

- 20 Come evidenziato in figura 3, le pareti 17 contrapposte dei collettori 15 sono vantaggiosamente piane e tra loro sostanzialmente parallele. Inoltre, tali pareti 17 si estendono dall'estremità 12a del primo condotto 12 con un angolo preferibilmente compreso tra 30 e 60° rispetto all'asse A di quest'ultimo.

- 25 In altre parole, i collettori 15 sono di forma sostanzialmente parallelepipedica in modo da favorire un passaggio del gas comburente attraverso gli stessi il più possibile laminare e con minime perdite di carico.

- 30 La particolare angolazione dei collettori 15 rispetto all'asse A del primo condotto 12, permette di confinare la zona di miscelazione dei gas reagenti in prossimità di una estremità superiore della camera di combustione 4 così da

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 20 -

sfruttare al meglio lo spazio disponibile per la reazione di combustione.

5 Sempre a questo scopo, l'estremità 15a inferiore dei collettori 15 è vantaggiosamente rettilinea e presenta una inclinazione compresa tra 45 e 90° rispetto all'asse A, preferibilmente tra 60 e 70°.

10 Al fine di limitare al massimo il rischio di danneggiamento del rivestimento in refrattario delle pareti interne della camera di combustione 4 da parte delle fiamme generate dai getti di ossigeno fuoriuscenti i collettori 15, ed allo stesso tempo minimizzare le sollecitazioni meccaniche a cui sono assoggettati gli ugelli 16, e che provocano un rapida usura degli stessi, gli ugelli 16 presentano un angolo d'inclinazione rispetto alle pareti 17 dei collettori 15  
15 compreso tra 90 e 30°, preferibilmente 45°.

20 Secondo una forma di realizzazione particolarmente preferita della presente invenzione, l'estremità 12a del primo condotto 12 presenta delle fenditure 21 per il passaggio del flusso gassoso comprendente idrocarburi dal primo condotto 12 ai collettori 15, aventi una sezione pari alla sezione definita dalle pareti 17 contrapposte dei collettori 15 in corrispondenza dell'intersezione con l'estremità del primo condotto 12.

25 Così facendo, il gas comburente fluisce con moto sostanzialmente assiale attraverso il condotto 12 ed i collettori 15, come indicato dalla linea di flusso tratteggiata 19 in figura 3, e va ad alimentare trasversalmente con tutta la sua portata tutti gli ugelli 16.

30 In altre parole, grazie a questa particolare conformazione del bruciatore 6, ogni ugello 16 riceve una stessa quantità del flusso comprendente ossigeno, ottenendo in questo modo



- 21 -

getti di uguale portata e quindi fiamme di uguale lunghezza lungo tutto il perimetro dei collettori 15.

5 Questa caratteristica non è solo vantaggiosa perché consente il raggiungimento di una combustione ottimale e completa nella camera di combustione 4, ma soprattutto perché non causa particolari perdite di carico al gas comburente durante il passaggio dal condotto 12 ai collettori 15 e permette di realizzare un raffreddamento capillare ed estremamente efficace anche della parte terminale dei collettori 15, consentendo così una lunga durata di esercizio del bruciatore e quindi considerevoli risparmi in termini di mancata produzione di gas di sintesi, costi di manutenzione e consumi energetici.

15 A questo proposito è bene notare come grazie alla presente invenzione, il gas comburente (che è più freddo del gas di processo) viene mantenuto a contatto (lambisce) in modo uniforme e continuo ogni parte del condotto 12 e dei collettori 15, riuscendo a garantire - in ogni momento - un raffreddamento ottimale di tali parti.

20 La figura 3, mostra chiaramente come i flussi dei gas reagenti fluiscono nel bruciatore 6 con moto sostanzialmente assiale (linee di flusso 18 e 19) e subiscono solo una minima deviazione relativamente all'asse A del condotto 12, convergente per il flusso di gas di  
25 processo rispettivamente divergente per il flusso d'ossigeno, minimizzando così le perdite di carico di tali flussi.

30 Inoltre, il flusso gassoso comprendente ossigeno fluisce vantaggiosamente perpendicolarmente rispetto all'estremità 15a dei collettori 15 distribuendosi uniformemente per tutta la lunghezza di tale estremità 15a, e quindi potendo realizzare un raffreddamento efficace e costante anche in qu sta zona del bruciatore che - essendo a diretto contatto

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 22 -

con i gas caldi combusti ricircolanti all'interno della camera 4 di combustione, è maggiormente soggetta ad usura e stress termici.

5 Da notare come l'estremità 12a del primo condotto 12 presenta una forma tronco-conica (rovesciata) per favorire il passaggio del flusso gassoso comprendente ossigeno dal condotto 12 ai collettori 15, riducendo il più possibile eventuali perdite di carico.

10 Allo stesso scopo, l'estremità 12a del primo condotto 12 comprende al suo interno mezzi per deviare il flusso gassoso comprendente idrocarburi verso i collettori 15.

15 Preferibilmente tali mezzi comprendo un deflettore 22 di forma conica il cui vertice è previsto in prossimità di una porzione superiore dell'estremità 12a del primo condotto 12.

Le perdite di carico del flusso gassoso comprendente ossigeno fluente nel primo condotto 12 possono venire ulteriormente ridotte prevedendo il vertice 23 del deflettore 22 di forma conica di sezione semicircolare.

20 Nelle figure 2 e 3, con 24 è infine indicato un collare di tenuta previsto tra i diaframmi forati 20 ed il condotto 13, per minimizzare il passaggio diretto del gas di processo dall'intercapedine 14 alla camera di combustione 4.

25 Il bruciatore 6 secondo la presente invenzione permette vantaggiosamente di effettuare la reazione di combustione nella camera di combustione 4 facendo fluire i reagenti gassosi attraverso il condotto 12 e l'intercapedine 14 con velocità particolarmente basse così da limitare le perdite  
30 di carico dei flussi gassosi, e quindi evitando eccessive

0-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 23 -

dissipazioni di energia, ed allo stesso tempo garantendo una miscelazione ottimale degli stessi nella camera 4.

5 Realizzando un gran numero di ugelli 16 di diametro relativamente piccolo (ad esempio 10 mm) nelle pareti 17 contrapposte di una pluralità di collettori 15, ed operando con una velocità bassa del flusso gassoso comprendente ossigeno (ad esempio 50 m/s), si riesce a controllare la lunghezza delle fiamme formatesi in corrispondenza dei getti di ossigeno alimentati alla camera di combustione 4, in modo da evitare ogni contatto diretto delle stesse con il rivestimento di refrattario delle pareti interne di tale camera 4 così come del sottostante catalizzatore per la reazione di steam reforming.

15 In ultimo, vale la pena di ribadire come grazie alla presente invenzione, il gas comburente fuoriuscente dai collettori 15 investe il flusso di gas di processo in modo tale che ogni singolo getto di ossigeno aspira una stessa quantità di gas di processo e, nel caso di alimentazione trasversale tra i gas reagenti, anche una stessa quantità  
20 di gas combusti ricircolanti all'interno della camera di combustione 4, ottenendo così una miscelazione ottimale tra i gas con fiamme tra loro tutte uguali ed alle stesse condizioni di temperatura e composizione, a tutto vantaggio della reazione di combustione.

25 Grazie al bruciatore 6 appena descritto con riferimento alle figure 1-4, è vantaggiosamente possibile attuare il processo secondo la presente invenzione per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario più sopra descritto e riportato nelle rivendicazioni allegate.

30 In particolare, tale processo si contraddistingue per il fatto di comprendere le fasi di alimentare il flusso gassoso comprendente ossigeno (linea di flusso 19) nella camera 4 di combustione sotto forma di una pluralità di

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 24 -

getti tra loro non sovrapposti rispetto alla direzione del  
flusso comprendente idrocarburi (linea di flusso 18),  
aventi un diametro in uscita dal condotto 12 di  
alimentazione compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra  
5 5-15 mm, ed una velocità di 20-100 m/s, preferibilmente 40-  
60 m/s; di sottoporre il flusso gassoso comprendente  
idrocarburi ad una predeterminata perdita di carico in  
uscita dl passaggio 14 sostanzialmente anulare, così da  
uniformare la portata di tale flusso; di suddividere il  
10 flusso gassoso comprendente idrocarburi così uniformato in  
una pluralità di flussi di uguale portata, alimentati nella  
camera 4 di combustione tra i getti del flusso gassoso  
comprendente ossigeno, in modo che in corrispondenza di  
ogni getto vi sia una stessa quantità di gas combustibile.

15

\*\*\* \* \*\*\*

Da quanto più sopra esposto emergono con chiarezza i  
numerosi vantaggi raggiunti dal processo secondo la  
presente invenzione; in particolare si riesce ad ottenere  
un processo per il reforming secondario, ad alta resa,  
20 semplice da attuare e che consente un'elevata produzione di  
gas di sintesi a bassi consumi energetici, bassi costi  
operativi e di manutenzione, e con una drastica riduzione  
delle perdite di produzione - rispetto ai processi secondo  
l'arte nota - grazie ad una risultante maggiore durata di  
25 esercizio ed affidabilità del bruciatore operante secondo  
il presente processo.

- 25 -

## RIVENDICAZIONI

1. Processo per il reforming secondario comprendente le fasi di:

5 - alimentare un flusso gassoso comprendente ossigeno in una camera di combustione attraverso un condotto di alimentazione;

10 - alimentare un flusso gassoso comprendente idrocarburi in detta camera di combustione attraverso un passaggio sostanzialmente anulare definito esternamente a detto condotto di alimentazione;

15 - miscelare e far reagire detto flusso gassoso comprendente ossigeno con detto flusso gassoso comprendente idrocarburi all'interno di detta camera di combustione, con ottenimento di un flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio;

- alimentare detto flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio ad un letto catalitico sottostante detta camera di combustione per l'effettuazione di una reazione di steam reforming,

20 caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

25 - alimentare detto flusso gassoso comprendente ossigeno in detta camera di combustione sotto forma di una pluralità di getti tra loro non sovrapposti rispetto alla direzione del flusso comprendente idrocarburi, aventi un diametro in uscita da detto condotto di alimentazione compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra 5-15 mm, ed una velocità di 20-100 m/s, preferibilmente 40-60 m/s;

- sottoporre detto flusso gassoso comprendente idrocarburi ad una predeterminata perdita di carico in uscita da detto

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 26 -

passaggio sostanzialmente anulare, così da uniformare la portata di tale flusso;

- suddividere il flusso gassoso comprendente idrocarburi così uniformato in una pluralità di flussi di uguale portata, alimentati in detta camera di combustione tra detti getti del flusso gassoso comprendente ossigeno, in modo che in corrispondenza di ogni getto vi sia una stessa quantità di gas combustibile.

2. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto flusso gassoso comprendente idrocarburi è alimentato in detta camera di combustione con moto sostanzialmente trasversale, preferibilmente ortogonale, rispetto a detti getti del flusso gassoso comprendente ossigeno.

3. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti getti del flusso gassoso comprendente ossigeno hanno uguale portata e velocità.

4. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di sottoporre detto flusso gassoso comprendente ossigeno attraversante detto condotto di alimentazione ad una perdita di carico complessiva compresa tra 0.25 e 0.35 bar.

5. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti getti del flusso gassoso comprendente ossigeno sono alimentati in detta camera di combustione con un moto sostanzialmente ortogonale rispetto alla direzione di tale flusso all'interno di detto condotto di alimentazione.

6. Bruciatore ad ugelli per reforming secondario del tipo comprendente:

0-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 27 -

- un primo condotto sostanzialmente cilindrico di predeterminata lunghezza per l'alimentazione di un flusso gassoso comprendente ossigeno ad una camera di combustione sottostante al bruciatore;

- 5 - un secondo condotto esterno e coassiale al primo che definisce al suo interno - tra detti condotti - una intercapedine sostanzialmente anulare per l'alimentazione di un flusso gassoso comprendente idrocarburi a detta camera di combustione;

10 caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente:

- 15 - almeno un collettore di detto flusso gassoso comprendente ossigeno in comunicazione di fluido con una estremità di detto primo condotto, comprendente una pluralità di ugelli disposti in modo non sovrapposto rispetto ad una asse di detto primo condotto e distribuiti lungo un perimetro di detto almeno un collettore, in prossimità di una sua estremità inferiore;

- 20 - mezzi per uniformare la portata del flusso gassoso comprendente idrocarburi in uscita da detta intercapedine sostanzialmente anulare.

7. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detti ugelli sono disposti lungo dette pareti su un'unica fila, preferibilmente parallela a detta estremità inferiore di detto almeno un collettore.

- 25 8. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detti ugelli hanno un diametro compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra 5 e 15 mm.

- 30 9. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detti ugelli circolari sono svasati in corrispondenza di un lato interno di detto almeno un collettore.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

- 28 -

10. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta estremità inferiore di detto almeno un collettore presenta una sezione sostanzialmente semicircolare.
- 5 11. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detti mezzi per uniformare la portata del flusso gassoso comprendente idrocarburi comprendono almeno un diaframma forato esteso in detta intercapedine sostanzialmente anulare in corrispondenza di detto almeno
- 10 un collettore.
12. Bruciatore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto di comprendere una pluralità di detti collettori che si estendono radialmente da detta estremità di detto primo condotto, detti ugelli essendo distribuiti lungo
- 15 pareti contrapposte di detti collettori.
13. Bruciatore secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che detti ugelli sono tra loro opportunamente distanziati, secondo la seguente relazione:
- $$NFi * Di^2 / (Ri * DR) = C$$
- 20 dove, C è una costante, DR la distanza radiale tra ugelli adiacenti, Ri il raggio di una iesima circonferenza passante per gli ugelli, NFi il numero di ugelli sulla circonferenza di raggio Ri, Di il diametro dei ugelli sulla circonferenza di raggio Ri.
- 25 14. Bruciatore secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che le pareti contrapposte di detti collettori sono piane e tra loro sostanzialmente parallele e si estendono da detta estremità di detto primo condotto con un angolo compreso tra 30 e 60° rispetto all'asse di
- 30 quest'ultimo.



- 31 -

## RIASSUNTO

Un processo per l'effettuazione di reazioni di reforming secondario per la produzione di gas di sintesi dove un flusso gassoso comprendente ossigeno ed un flusso gassoso comprendente idrocarburi vengono alimentati in una camera di combustione e fatti reagire previa miscelazione con 5 ottenimento di un flusso gassoso comprendente idrogeno e monossido di carbonio a sua volta alimentato ad un letto catalitico per l'effettuazione di una reazione di steam reforming, si contraddistingue per il fatto di: - alimentare il flusso gassoso comprendente ossigeno nella camera di combustione sotto forma di una pluralità di getti tra loro non sovrapposti rispetto alla direzione del flusso comprendente idrocarburi, aventi un diametro in uscita dal 15 condotto di alimentazione compreso tra 5 e 30 mm, preferibilmente tra 5-15 mm, ed una velocità di 20-100 m/s, preferibilmente 40-60 m/s; - sottoporre il flusso gassoso comprendente idrocarburi ad una predeterminata perdita di carico in uscita dal passaggio sostanzialmente anulare, così da uniformare la portata di tale flusso; - suddividere il 20 flusso gassoso comprendente idrocarburi così uniformato in una pluralità di flussi di uguale portata, alimentati nella camera di combustione tra i getti del flusso gassoso comprendente ossigeno, in modo che in corrispondenza di 25 ogni getto vi sia una stessa quantità di gas combustibile.

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

1/3

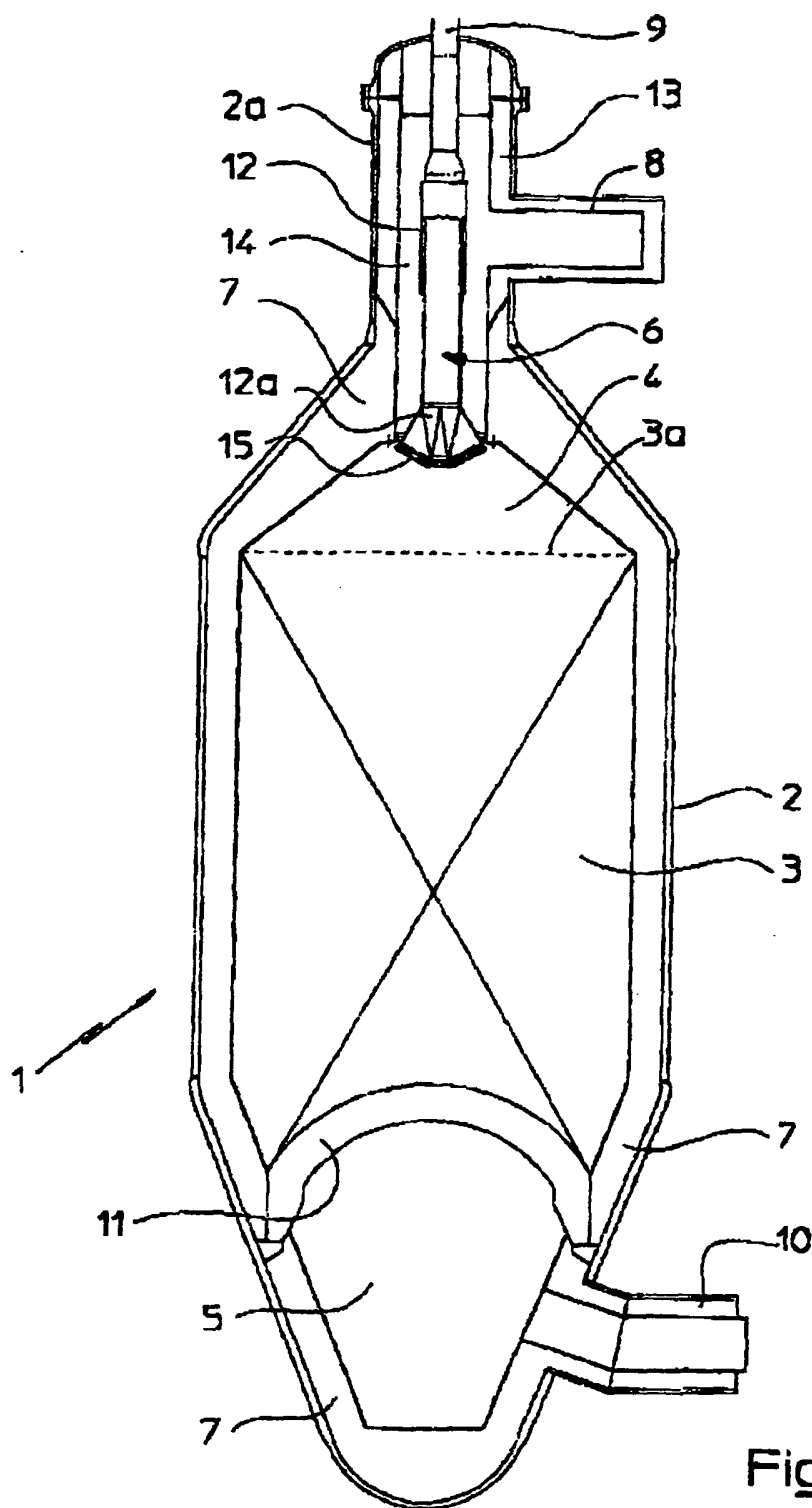


Fig. 1

2/3

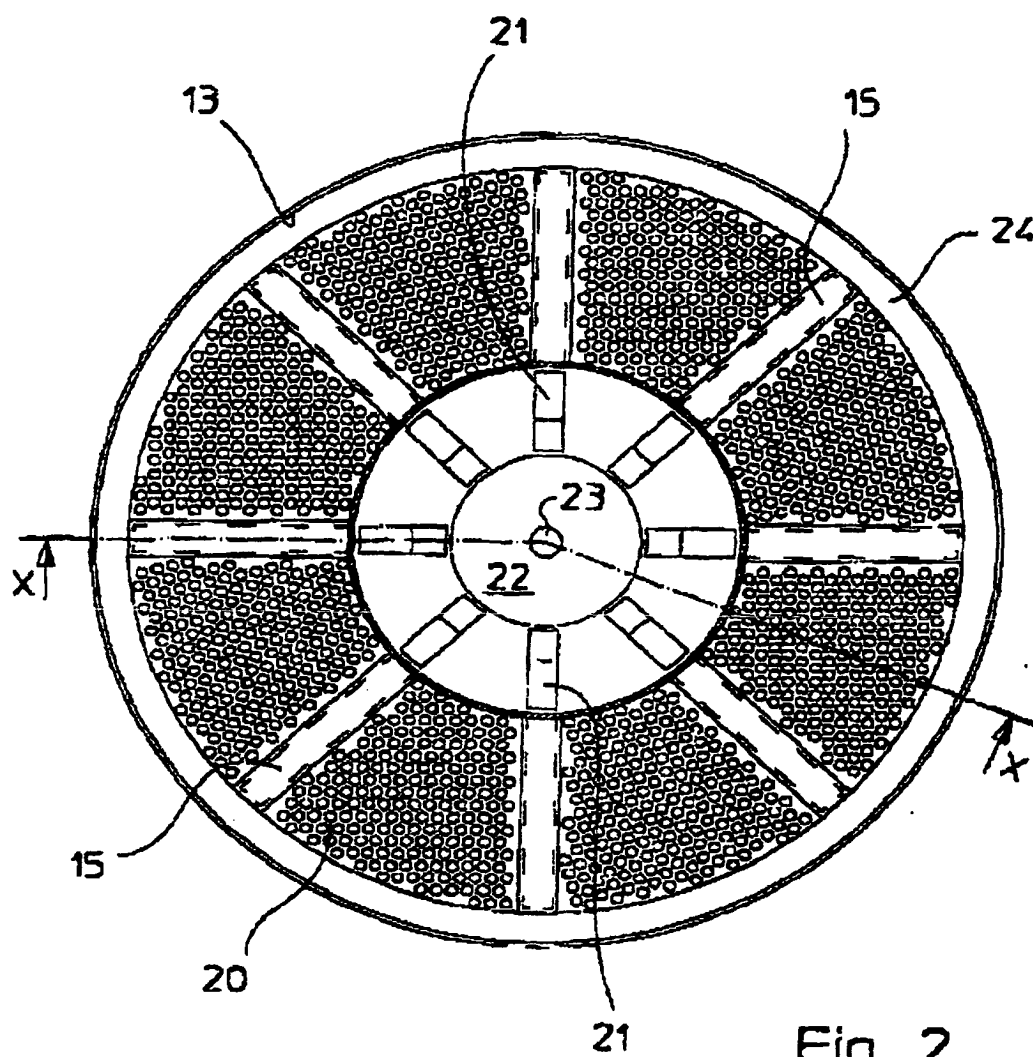


Fig. 2

10-02-1999

EP99200369.9

SPEC

3/3

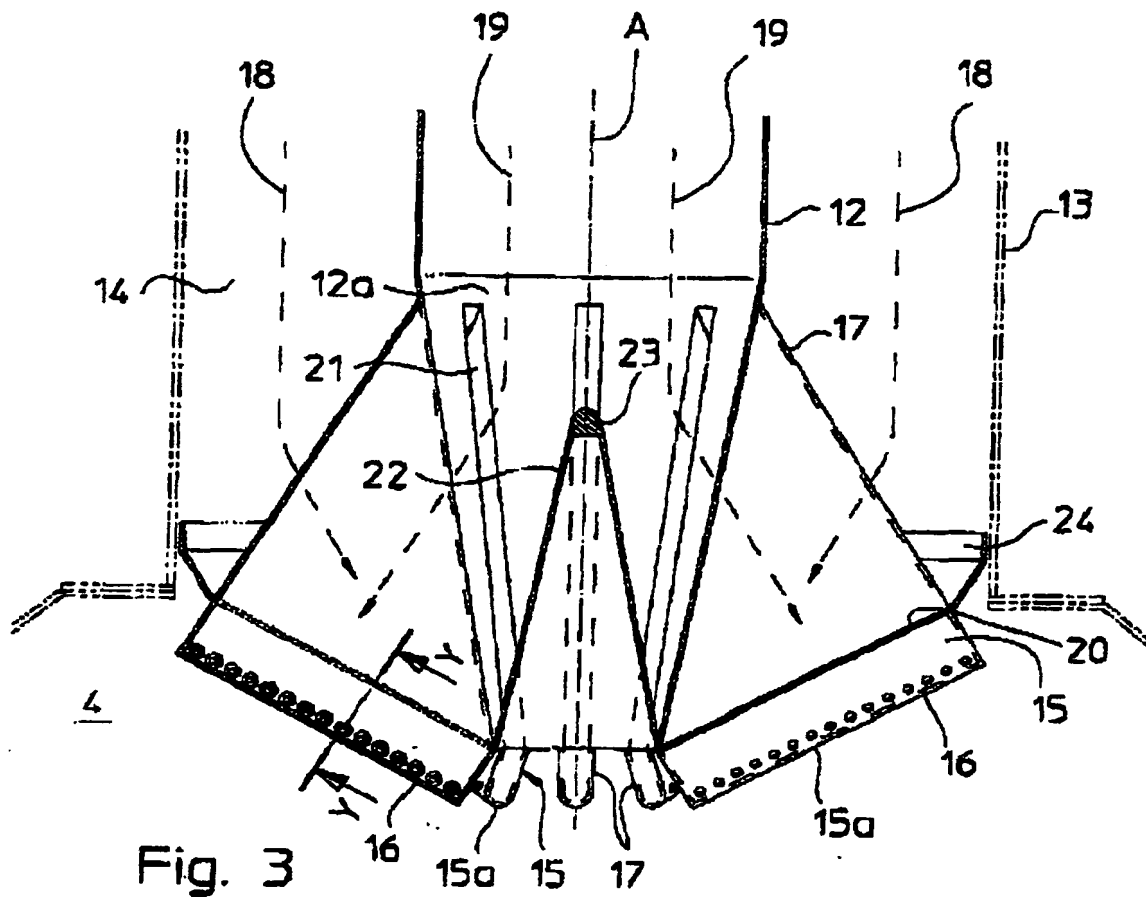


Fig. 3

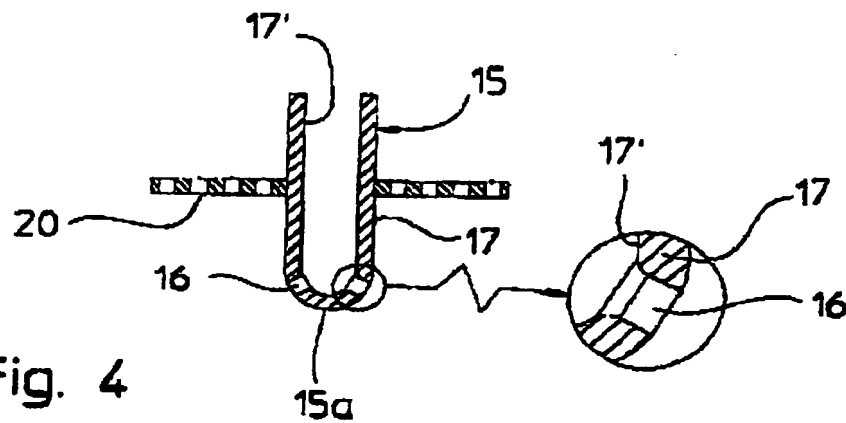


Fig. 4